

کاربرد مدل ریاضی سبرم^۱ برای ارزیابی تأثیر توزیع بارش موقت بر تولید سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبریز سفیدرود)

علیرضا مردوخ پور

- استادیار گروه عمران و مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان a.mardookh@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۰/۱/۱۵

چکیده

به طور کلی می توان از روی هیدروگراف، پاسخ یک حوضه آبریز را نسبت به واقعه سیلاب تعیین نمود. در تحقیق حاضر برای ارزیابی تأثیر هیدروگراف بارش موقت بر تولید سیلاب در حوضه های کوچک، با در نظر گرفتن دو بارش با مشخصات معین و ایجاد یک مدل رواناب بر مبنای آمار و احتمالات، شبیه سازی انجام شده است. مدل ریاضی ارائه شده که سبرم نام دارد از داده های اولیه دو واقعه بارش و رواناب حاصل از آن در حوضه آبی سپید رود ساخته می شود که در آن یک های توگراف از دو بارش مشخص شبیه سازی شده و کالیبراسیون اعداد حاصله از آن، مبنای ارزیابی سیلاب های آتی قرار می گیرد. نتایج حاصله نشان می داد که مدل ریاضی سبرم در شدت بارش های متوسط و کم، در حوضه های کوچک و متوسط انطباق بسیار نزدیکی با مقادیر واقعی بارش ارائه می نماید به گونه ای که در تحقیق حاضر برای حوضه آبریز سفیدرود با حداکثر شدت بارش حدود ۶۰ میلی متر در ساعت، تنها ۱۳ درصد خطا مشاهده شد.

کلید واژه ها: رواناب، دبی حداکثر، شبیه سازی، مدل ریاضی سبرم (SEBRM)، حوضه آبریز سفیدرود.

مقدمه

بارش باران قسمت اصلی آب سیلاب در حوضه های آبریز را تشکیل می دهد و بر حسب توزیع مکانی و زمانی آن، بر پاسخ سیلاب حوضه نیز موثر است. لذا مطالعه تأثیر بارش بر میزان تولید رواناب، هدف اصلی بسیاری از محققین بوده است (۱ و ۶). اصول مدیریت سیلاب بر حسب توزیع زمانی و مکانی بارش، بر مبنای ثبت واقعه بارش و ساختن هیدروگراف می باشد و در شرایطی که مسیر حرکت توزیع بارش بر جریان اصلی رودخانه منطبق باشد، پیک سیلاب حاصله بیشتر از حالتی می باشد که حرکت مذکور مخالف با جهت حرکت سیلاب اصلی رودخانه باشد (۱۰ و ۱۱). سیلاب ناشی از بارش که از های توگراف های بارش به دست می آید، نشان می دهد که عدم قطعیت هایی در طی فرآیند تولید سیلاب وجود دارند (۴). مدل در نظر گرفته شده بر مبنای های توگراف می تواند به حوضه های بزرگ مقیاس نیز توسعه داده شود (۵ و ۹). یک روش نوین که در تحقیق حاضر ارائه می شود، استفاده از زوج مدل های بارش مولد سیلاب می باشد که بر مبنای روابط آمار و احتمالات ریاضی بنا می شوند (۸). روش حاضر بر مبنای شبیه سازی سیلاب حاصل از زوج بارش مولد سیلاب

ساخته می شود و سبرم نام دارد که یک مدل پارابولیک احتمالاتی برای تولید رواناب سیلاب را ارائه می کند.

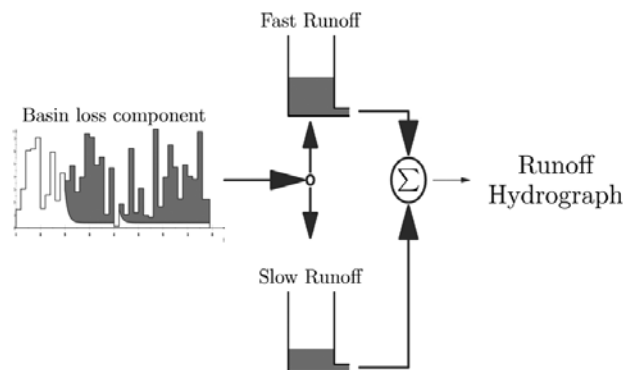
مواد و روش ها

در تحقیق حاضر دو مدل ترکیبی از واقعه بارندگی برای یافتن روند تولید سیلاب و یک مدل احتمالاتی بارش با هدف تأثیر توزیع بارش موقت بر مدل سیلاب، مورد بررسی قرار می گیرند. مدل حاصل که مدل واقعه کم دامنه سیلاب پایه سبرم نامگذاری می گردد، بر مبنای سه عنصر اصلی قرار می گیرد که عبارتند از: بارش موثر، پاسخ آرام سیلاب و پاسخ سریع سیلاب. در شکل (۱) اجزای مدل سبرم ارائه شده است (۷).

فرصیه های اصلی مدل سبرم به شرح زیر می باشند (۲):

الف- توسط عنصر پاسخ سریع سیلاب می توان بارش مؤثر را به عنصر سیلاب اصلی تبدیل نمود.

ب- تولید مجدد سیلاب می تواند در هنگام از دست رفتن ظرفیت



شکل (۱) - اجزای مدل سبرم

$$f(t) = \int (0.5 \times Sp \times T^{0.5} + Kp) dt \quad (۳)$$

اصلی سیلاب رخ دهد.

با توجه به دو فرض مذکور پارامترهای اصلی مدل سبرم از دو جزء عنصر پاسخ سریع سیلاب و تخمین بارش مؤثر به دست می آیند.

$H_f(t)$: داده های اولیه بارش

S_p : پاسخ سریع حوضه برای جریان از دست رفته و

K_p : پاسخ آرام حوضه نسبت به بارش مؤثر می باشند.

مقادیر S_p و K_p از کالیبراسیون داده های اندازه گیری شده به دست می آیند.

عنصر پاسخ سریع سیلاب نسبت به حوضه: این عنصر، داده های بارش مؤثر را به اجزای هیدروگراف پاسخ سریع سیلاب تبدیل می کند.

ساختمان نهایی مدل سبرم: پردازش اصلی مدل سبرم بدین شرح است که قسمت اصلی که جریان خروجی از مدل است، توسط تابع تبدیل پاسخ سریع سیلاب بر مبنای استفاده از رابطه سنت ونان، بیان می گردد (۹). معادله اصلی توسط رابطه تعادل جرم به صورت زیر بیان می شود:

$$\partial q / \partial x + \partial h / \partial t = e_t \quad (۴)$$

در رابطه (۴):

q : دبی سیلاب

h : ارتفاع جریان سیلاب

e_t : جریان ورودی جانبی می باشد.

لازم به ذکر است که در رابطه (۴) مقدار دبی جریان از رابطه

زیر بدست می آید:

$$q = (87 / \gamma) \times i^{0.5} \times h^M \quad (۵)$$

عنصر پاسخ آرام سیلاب نسبت به حوضه: این عنصر برای بیان جریانی به کار می رود که ارتباطی با دبی واقعی حوضه در جریان تداوم بارش ندارد و نماینده جریان فیل از بارش در حوضه می باشد که می تواند توسط یک جدا سازی ساده خطی از جریان پایه متمایز گردد (۳). جریان پایه، جریان قبل از شروع بارش است که مقداری ثابت در مطالعه فرض می گردد.

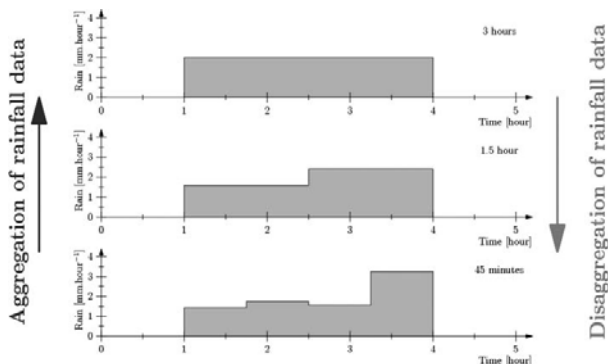
عنصر بارش مؤثر: جزء دوم از مدل سبرم تخمینی از داده های بارش مؤثر است. تخمین حجم سیلاب و تمایز بارش مؤثر از بارش موقت، نتیجه خروجی از این عنصر می باشد. باز تولید مقدار جریان از دست رفته در مدل نیز در این قسمت انجام می شود. در ابتدا حجم اولیه سیلاب از دست رفته از مقدار بارش قبل از آنکه حوضه شروع به واکنش کند کم می شود و سپس مقدار بارش موقت شروع به تشکیل بارش خالص می نماید. بارش خالص در یک ساعت معین، معادل با تفاوت داده های اولیه بارش از مقدار کل جریان از دست رفته می باشد. شدت بارش خالص H_e می تواند توسط روابط زیر تعیین گردد:

$$Hr(t) < f(t) \rightarrow He(t) = 0 \quad (۱)$$

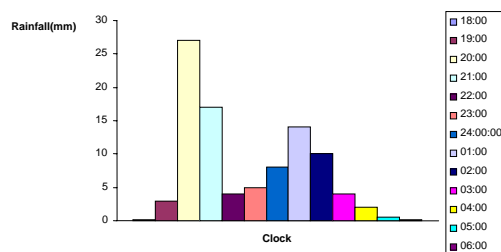
$$Hr(t) = f(t) \rightarrow He(t) = Hr(t) - f(t) \quad (۲)$$

در روابط (۱) و (۲):

$f(t)$: انتگرال شدت جریان از دست رفته است که از رابطه زیر تعیین می گردد:

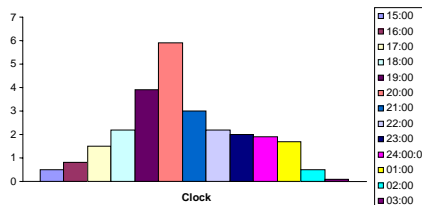


شکل ۲- گام‌های بارش ناسازگار



شکل ۳- مشخصات بارش شماره یک

Rainfall(mm)



شکل ۴- مشخصات بارش شماره دو

المان و به روش صریح عددی انجام می‌شود.

مدل بارش ناسازگار: مدل اصلی دیگر که در مدل سبرم نقش مؤثری دارد و بر مبنای آمار و احتمالات است، داده‌های بارش را به هایتو گراف شبیه سازی می‌کند. اولین بخش از این مدل، مقدار متوسط بارش را بیان می‌کند و از روی آن، حجم بارش و در نهایت هایتوگراف بارش شبیه‌سازی می‌شود. دومین بخش از مدل، واریانس اعداد هایتوگراف شبیه‌سازی شده را محاسبه می‌نماید. در شکل (۲) گام‌های مدل بارش ناسازگار ارائه شده است.

مشخصات حوضه مورد مطالعه: به منظور ارزیابی مدل سبرم و

مقادیر γ و M پارامترهای کالیبراسیون می‌باشند و در طی سیلاب ثابت فرض می‌شوند. معادله اصلی دیگر بر مبنای معادله مومنوم می‌باشد که به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$i = i_{sv} - \partial h / \partial x \quad (۶)$$

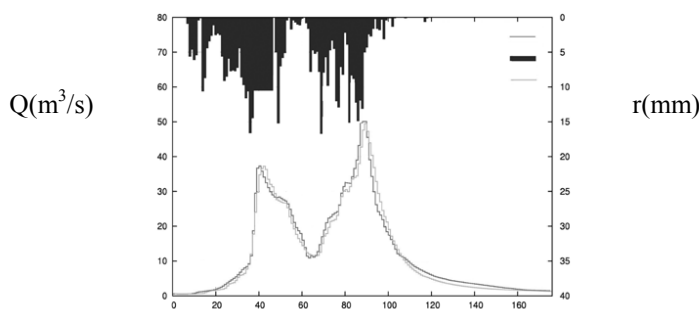
در رابطه (۶)

i : شیب اصطکاکی

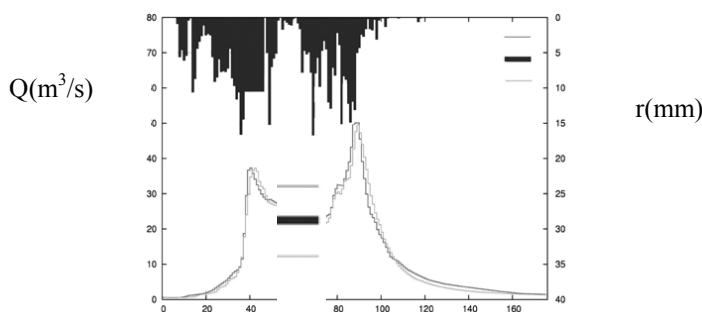
i_{sv} : شیب هیدرولیکی

$\partial h / \partial x$: تغییر ارتفاع جریان سیلاب نسبت به فاصله می‌باشد.

حل معادلات سنت ونان و دیگر روابط ارائه شده توسط روش تفاضل



شکل ۵ - واقعه سیلاب ۱۳۸۳/۱۰/۲۵



شکل ۶ - واقعه سیلاب ۱۳۸۴/۱۰/۹

سیلاب اندازه گیری شده

مقدار بارش

سیلاب شبیه سازی شده

جدول ۱- مشخصات سیلابهای مورد بررسی در مدل سبرم

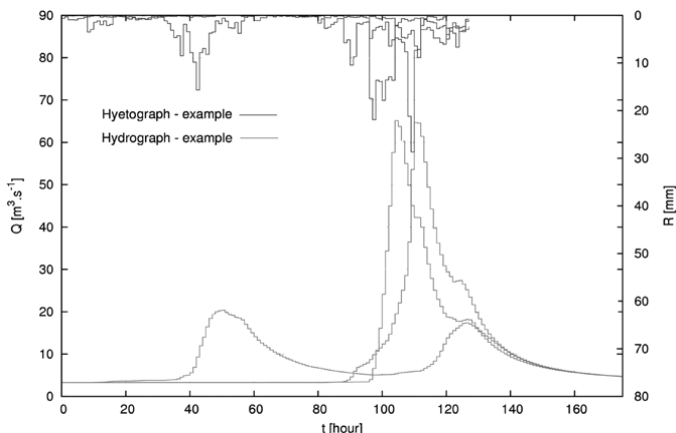
| ۱۳۸۴/۱۰/۹ | ۱۳۸۳/۱۰/۲۵ | واقعه سیلاب |
|-----------|------------|-------------|
| ۵۳۵ | ۲۱۰ | Hs |
| ۳۵۶ | ۱۵۵ | Ho |
| ۵۰/۱ | ۵۳/۸ | Q |
| ۹۰ | ۴۵ | Tr |
| ۱۶۰ | ۸۰ | Tpv |
| ۰/۶۴ | ۰/۷۴ | Φ |
| ۹۰/۴ | ۳۱/۱ | Hzt |

مقدار نهایی اعداد حاصله در جدول (۲) ارائه شده اند. بررسی تأثیر توزیع بارش موقت بر روی سیلاب، دو سری داده از سیلاب حداکثر

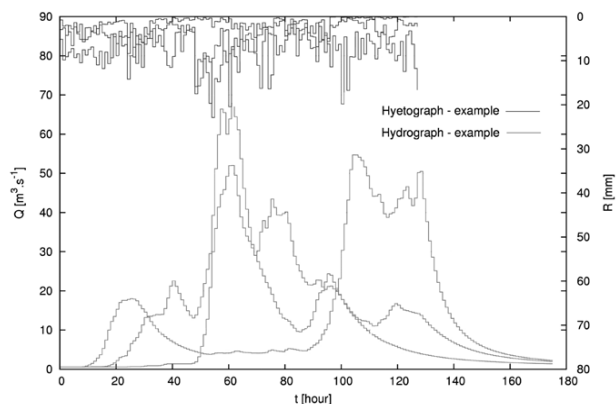
دبی سیلاب بر حسب متر مکعب بر ثانیه و مقدار بارش بر حسب میلی متر است.

جدول ۲- مشخصات هیدرولیکی آبراهه

| ۱۳۸۴/۱۰/۹ | ۱۳۸۳/۱۰/۲۵ | واقعه سیلاب |
|-----------|------------|-------------|
| ۲۳ | ۷ | تعداد مقاطع |
| ۱/۷۵-۵ | ۰-۰/۸ | دامنه Kp |
| ۱-۱۷ | ۰-۱۰ | دامنه Sp |
| ۱۶ | ۱۶ | γ |
| ۲/۵ | ۲/۵ | M |



شکل ۷- چهار هیدروگراف و هایتوگراف شبیه سازی شده در سیلاب ۱۳۸۳/۱۰/۲۵



شکل ۸- چهار هیدروگراف و هایتوگراف شبیه سازی شده در سیلاب ۱۳۸۴/۱۰/۹

مساحت ۶۵۰ کیلومتر مربع، شیب متوسط ۰/۳، ارتفاع متوسط ۱۱۰۰ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد که ۷۰ درصد آن پوشش جنگلی، ۲۵ درصد آن با پوشش چمنزار و مرتع و ۵ درصد آن نیمه خشک می‌باشد. دو واقعه سیلاب بر مبنای هایتوگراف و هیدروگراف‌های ارائه شده توسط سازمان هواشناسی از سالهای ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ بر مبنای دوره بازگشت دو سال تهیه و در جدول (۱)، ارائه شده‌اند. مشخصات بارشی که از روی آنها سیلاب مورد بررسی در مدل سیرم ساخته شده است مطابق شکل‌های (۳) و (۴) می‌باشد.

اندازه گیری شده در حوضه آبریز سپیدرود (گیلان) و پاسخ حوضه به سیلاب واقعی انتخاب شد. در ابتدا یک مدل ناسازگار از پارامترهای احتمالاتی بارندگی، تابع کاهش واریانس و شدت بارش متوسط تهیه و یک هایتوگراف از موارد مذکور حاصل گردید. اطلاعات بارش شبیه سازی شده، مستقیماً به مدل سیرم که از دو سیلاب واقعی کالیبره شده بود انتقال یافت. داده‌های کالیبره شده عبارتند از تخمین جریان ازدست رفته و پاسخ حوضه به رواناب. بخشی از حوضه سپیدرود که در تحقیق حاضر در مدل سیرم، مورد بررسی قرار گرفته است، دارای

خط حاصل شده است. همچنین نتایج نشان می‌داد در سیلاب سال ۱۳۸۴ ناشی از بارش شبیه‌سازی شده، هایتوگراف با شدت بیشتر از ۶۶ میلی‌متر در ساعت دیده نمی‌شود که نزدیک به مقدار واقعی اندازه‌گیری شده از داده‌های صحرایی (۵۴ میلی‌متر در ساعت) است و حدود ۱۸ درصد خطا حاصل شده است. بر مبنای هایدروگراف‌های به دست آمده می‌توان هایدروگراف‌های شبیه‌سازی شده با مقدار بیشتر از دبی پیک را معلوم نمود و وقوع احتمال بارش خارج از محدوده پراکندگی نقاط را یافت.

نتیجه‌گیری

روش ارائه شده در مدل سبرم می‌تواند برای ارزیابی وقوع سیلاب حداکثر در حوضه‌های آبریز کوچک و متوسط و پاسخ حوضه به مقدار بارش را معین سازد. در مطالعه حاضر دو هایدروگراف شبیه‌سازی شده برای ارزیابی مدل سبرم مورد استفاده قرار گرفت و نتایج شبیه‌سازی با داده‌های اندازه‌گیری شده صحرایی از رود خانه سپید رود مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مدل سبرم در شدت بارش‌های متوسط و کم (تا حدود ۶۰ میلی‌متر در ساعت) انطباق نزدیکی با مقادیر واقعی بارش ارائه می‌نماید به گونه‌ای که در تحقیق حاضر برای شدت بارش حدود ۶۰ میلی‌متر در ساعت تنها ۱۳ درصد خطا مشاهده شد.

تقدیر و تشکر

نویسنده مقاله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان برای در اختیار قراردادن امکانات نرم افزاری و اطلاعات لازم در تحقیق، تقدیر می‌نماید.

منابع

- 1- Akan, A. O. and R. J Houghtalen. 2003. Urban hydrology, hydraulics and storm water quality. John Wiley and Sons, Inc., New York, 45-67.
- 2- Ball, J. E. 1994. The influence of storm patterns on catchments response. Journal of Hydrology, (158): 285–303.
- 3- Beven, K. J. 2001. Rainfall – runoff modeling the primer. John Wiley and Sons, Inc., New York, 23-46.
- 4- Bronstert, A. and A. Bardossy. 2003. Uncertainty of runoff modeling at the hillslope scale due to temporal variations of rainfall intensity. Physics and Chemistry of the Earth, (28): 283–288.
- 5- Diermanse, F. L. M. 1999. Representation of natural heterogeneity in rainfall runoff models. Physics and Chemistry of the Earth, (24): 787–792.
- 6- Faures, J. M., Goodrich, D. C., Woolhiser, D. L. and S. Sorooshian. 1995. Impact of small-scale spatial variability on runoff modeling. Journal of Hydrology, (173): 309–326.

در جدول (۱)
 H_s : مقدار کل بارش بر حسب میلی‌متر
 H_o : ارتفاع سیلاب بر حسب میلی‌متر
 Q : دبی پیک سیلاب بر حسب متر مکعب بر ثانیه
 Tr : مدت زمان کل بارش بر حسب ساعت
 $Trpv$: زمان رسیدن به اوج هایدروگراف بر حسب ساعت
 Φ : ضریب رواناب و
 Hzt : ارتفاع جریان از دست رفته بر حسب میلی‌متر می باشد.

نتایج و بحث

کالیبراسیون پارامترهای γ و M در مدل سبرم، توسط عنصر جریان از دست رفته و عنصر پاسخ سریع سیلاب انجام می‌شود که نتایج آن در شکل‌های (۵) و (۶)، ارائه شده است. برای یافتن مدل ناسازگاری بارش هایتوگراف‌هایی با توزیع‌های مختلف بارش تهیه می‌گردد. مقدار اولیه Hzt برای تمام بارش‌های مصنوعی در مدل ثابت فرض می‌گردد تا شبیه‌سازی رطوبتی حوضه حفظ گردد. نمونه‌هایی از هایدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و هایتوگراف‌های آنها در شکل‌های (۷) و (۸) ارائه شده است. نتایج نشان داد که وابستگی بسیار نزدیکی بین دبی‌های پیک سیلاب و هایتوگراف بارش حداکثر حاصل شده است، همچنین نتایج نشان می‌دهند که حجم بارش رخ داده، تأثیر به‌سزایی بر هایدروگراف شبیه‌سازی سیلاب دارد. در سیلاب سال ۱۳۸۳ ناشی از بارش شبیه‌سازی شده، هایتوگراف با شدت بیشتر از ۶۰ میلی‌متر در ساعت دیده نمی‌شود که بسیار نزدیک به مقدار واقعی اندازه‌گیری شده از داده‌های صحرایی (۵۳ میلی‌متر در ساعت) است و حدود ۱۳ درصد

- 7- Goodrich, D. C., Faures, J. M., Woolhiser, D. A., Lane, J. L. and S. Sorooshian. 1995. Measurement and analysis of small-scale convective rainfall variability. *Journal of Hydrology*, (173): 283–308.
- 8- Hearman, A. J. and C. Hinz. 2007. Sensitivity of point scale surface runoff predictions to rainfall resolution. *Hydrology and Earth System Sciences*, (11): 965–982.
- 9- Kurik, P. 2002. Methods for deriving of maximal discharges in ungauged outlets of the watershed. Ph.D.Thesis. FLE CUA, Prague, Czech Republic, 36-49
- 10- Maca, P. 2005. The influence of temporal rainfall distribution on extreme runoff formation in the catchments. Ph.D. Thesis. FLE CUA, Prague, Czech Republic, 23-35
- 11- Singh, V. P. 1998. Effect of the direction of storm movement on planar flow. *Hydrological Processes*, (12): 147–170.